

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 01 249.0

Anmeldetag: 11. Januar 2002

Anmelder/Inhaber: Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Interpolation mindestens zweier
positionsabhängiger, periodischer, zueinander
phasenverschobener Analogsignale

IPC: G 01 B, G 01 D, H 03 M

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. November 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Weihmayr

Dr. Johannes Heidenhain GmbH
Patentabteilung
Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5

83301 Traunreut

JH143

Verfahren zur Interpolation mindestens zweier positionsabhängiger, periodischer, zueinander phasenverschobener Analogsignale

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Interpolation mindestens zweier positionsabhängiger, periodischer und zueinander phasenverschobener Analogsignale nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein derartiges Verfahren dient dazu, Analogsignale, die durch Abtastung einer Meßteilung erzeugt werden, zur Positionsmessung, d.h. insbesondere zur Weg- und/oder Winkelmessung, zu interpolieren. Hierbei werden die Analogsignale mittels eines Sigma-Delta-Modulators jeweils in einen digitalen Datenstrom umgewandelt; die mindestens zwei Datenströme dann zur Erzeugung einer (einzelnen) Ergebnisfolge zunächst mit Korrekturfaktoren sowie anschließend miteinander verknüpft; und aus der Ergebnisfolge einerseits anhand eines (durch die Werte der Ergebnisfolge) zu erfüllenden Gütekriteriums neue Korrekturwerte und andererseits die Ausgangssignale der Interpolation erzeugt.

Die mindestens zwei Analogsignale sind insbesondere um 90° zueinander phasenverschoben und im wesentlichen sinusförmig, wobei Letzteres auch durch Phasenverschiebung aus der Sinusfunktion erzeugte Analogsignale, wie z. B. Kosinussignale, umfaßt.

Ein solches Verfahren ist aus der DE 199 38 802 A1 bekannt. Bei diesem Verfahren wird die Ergebnisfolge einem digitalen Filter zugeführt, der bestimmte Informationen der Eingangssignale restauriert, und anschließend in Abhängigkeit von dem Ausgangswert des Filters einen Phasenzähler inkrementiert oder dekrementiert. Der hierdurch erzeugte Phasenwert wird einerseits (bis zur Erfüllung des Gütekriteriums) zur Bestimmung neuer Korrekturwerte und andererseits zur Bestimmung des Ausgangssignales der Interpolation verwendet. Zur Erfüllung des Gütekriteriums erzeugt die Ergebnisfolge bei gleichzeitiger Dezimation in einem Filter eine Signalfolge, die nach Vergleich mit dem Gütekriterium die Korrekturwerte so steuert, daß die Ergebnisfolge sich diesem Gütekriterium

nähert und zum anderen eine Adressfolge gebildet wird, aus der nach Tiefpaßfilterung und Zuordnung die Ausgangssignale erzeugt werden.

Aus der DE 195 02 276 A1 ist ein Interpolationsverfahren zum Interpolieren mindestens zweier durch Abtastung eines Teilungsträgers gewonnener, positionsabhängiger, periodischer und um 90° zueinander phasenverschobener sinusähnlicher Analogsignale zum Messen von Wegen und/oder Winkeln bekannt, bei dem den Analogsignalen jeweils mittels Sigma-Delta-Modulation ein Rauschen überlagert wird, bei dem aus den so entstandenen Datenfolgen unter gleichzeitiger erster unvollständiger Tiefpaßfilterung der Rauschanteile oberhalb der maximalen Eingangsfrequenz der Analogsignale Signalfolgen erzeugt werden und bei dem aus den Signalfolgen eine Folge von Winkelwerten gewonnen wird, der nach zweiter Tiefpaßfilterung des noch vorhandenen Rauschanteiles oberhalb der maximalen Eingangsfrequenz der Analogsignale eine Folge von Ausgangswerten zugeordnet wird.

Aus der DE 195 06 276 A1 ist ein Verfahren zur Interpolation von Sensorsignalen bekannt, bei dem je ein Sinus- und ein Kosinussignal eines Sensors einer Brückenschaltung mit mehreren Abgriffspunkten zugeführt wird und ein Wertevergleich zwischen einem Abgriffspaar, bestehend aus zwei Abgriffen, die in der Brückenschaltung diametral gegenüberliegen, durchgeführt wird. Bei Feststellung einer Wertegleichheit zwischen dem Abgriffspaar, die einem Nulldurchgang des Abtastwertes entspricht, wird ein die Stellung des entsprechenden Abgriffspaares repräsentierendes Signal ausgegeben. Dabei werden die Abgriffspaare in einer Richtung nacheinander mit einer Frequenz multipliziert, die

größer ist als die Signalfrequenz, mit der Anzahl der Abgriffspunkte abgetastet und nacheinander dem Wertevergleich unterzogen sowie jedem Abastereignis ein Zählerwert eindeutig zugeordnet.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Interpolationsverfahren der eingangs genannten Art weiter zu verbessern.

Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch die Schaffung eines Verfahrens mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Danach werden die Werte der Ergebnisfolge zur Erzeugung der Korrekturwerte sowie der Ausgangssignale über ein vorgebbares Zeitintervall akkumuliert und die durch Akkumulation erzeugte Signalfolge unmittelbar als Adressfolge zur Erzeugung der Korrekturwerte und des Ausgangssignales verwendet.

Zur Bildung einer Adressfolge wird also gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht einfach ein Phasenzähler inkrementiert oder dekrementiert, sondern vielmehr durch Akkumulation ein Phasenwert mit fraktionalem Anteil erzeugt. Hierdurch werden eine genauere Phasennachführung, eine geringere Verstärkung der zur Erfüllung des Gütekriteriums verwendeten Regelschleife und somit eine verbesserte Dynamik des Gesamtsystems erreicht. Bei der Akkumulation über ein vorgegebenes Zeitintervall (Dezimation des Datenstromes) wird das Zeitintervall so gewählt, daß sich aus den akkumulierten Werten der Ergebnisfolge gerade die Phase der Analogsignale bestimmen läßt.

Die Akkumulation der Werte der Ergebnisfolge erfolgt vorzugsweise in einem Filter, und zwar insbesondere in einem Filter in Form eines Integrierers.

Die Adresswerte der durch Akkumulation gebildeten Adressfolge repräsentieren jeweils die Phaseninformation der eingangsseitigen Analogsignale und sind linear abhängig von der Phase mindestens eines der periodischen Analogsignale, wenn das Gütekriterium erfüllt ist. Das heißt, wenn die Erzeugung der Ausgangssignale soweit fortgeschritten ist, daß sich die Ergebnisfolge bzw. die hieraus erzeugte Adressfolge einem vorgegebenen Gütekriterium nähern, dann besteht ein linearer Zusammenhang zwischen den Adresswerten und der Phase der eingangsseitigen Analogsignale.

Aus der Adressfolge können schließlich durch Tiefpaßfilterung und anschließende Zuordnung der Adresswerte die Ausgangssignale der Interpolation erzeugt werden.

Gemäß der Erfindung repräsentieren die Adresswerte der Adressfolge einen Phasenwert mit fraktionalem Anteil, wobei zur Erzeugung der Korrekturwerte der hochwertige Teil der Adressfolge verwendet wird, der einem inkrementalen Anteil der Adressfolge entspricht, und zur Erzeugung der Ausgangssignale der Interpolation der hochwertige und der niederwertige Teil der Adressfolge verwendet werden. Letzterer entspricht dem fraktionalen Anteil der Adressfolge.

Insgesamt erfolgt die Bestimmung der Ausgangssignale der Interpolation rekursiv mittels einer Regelschleife, indem anhand des Gütekriteriums so lange neue Korrekturwerte

erzeugt und mit den aus den eingangsseitigen Analogsignalen erzeugten digitalen Datenströmen verknüpft werden, bis das Gütekriterium erfüllt ist.

Die möglichen Korrekturwerte, bei denen es sich insbesondere um Werte trigonometrischer Funktionen (Sinus- und/oder Kosinusfunktionen) handeln kann, können als vorgegebene Werte in einer Zuordnungseinheit abgelegt sein. Aus den in der Zuordnungseinheit abgelegten Werten werden die jeweils mit den einzelnen Daten der digitalen Datenströme zu verknüpfenden Korrekturwerte anhand des Gütekriteriums in Abhängigkeit von den aktuellen Adresswerten der Adressfolge ausgewählt. Das Gütekriterium kann dabei wahlweise unmittelbar auf die Werte der Ergebnisfolge angewandt werden, indem dem zur Erzeugung der Adressfolge dienenden Filter (Integrierer) eine entsprechende Verknüpfungseinheit vorgeschaltet ist, oder diese Verknüpfungseinheit wird mit dem Filter (Integrierer) zu einer Einheit zusammengefaßt.

Zur Erzeugung der Ergebnisfolge werden die einzelnen Daten der aus den eingangsseitigen Analogsignalen erzeugten digitalen Datenströme jeweils multiplikativ mit einem Korrekturfaktor und anschließend die Daten unterschiedlicher Datenströme durch Addition oder Subtraktion miteinander verknüpft.

Der Sigma-Delta-Modulator ist vorzugsweise derart ausgelegt, daß die einzelnen Daten der hiermit erzeugten digitalen Datenströme jeweils eine Wortbreite von nur einem Bit aufweisen.

Bei exakter Phasenlage und sinusförmigem Verlauf der eingangsseitigen Analogsignale werden die Werte d der Ergebnisfolge gebildet nach der Formel $d = s_1 \cdot k_1 \pm s_2 \cdot k_2$, wobei s_1 , s_2 Daten der mittels der Sigma-Delta-Modulation erzeugten digitalen Datenströme und k_1 , k_2 zugeordnete Korrekturfaktoren sind. Die durch Akkumulation der Werte d der Ergebnisfolge erzeugte Adressfolge beeinflusst dabei die Korrekturwerte derart, daß ein linearer Zusammenhang zur Winkelinformation der eingangsseitigen Analogsignale hergestellt ist.

Wenn es sich bei den Daten der durch die Sigma-Delta-Modulation erzeugten Datenströme um Daten mit einer Wortbreite von einem Bit handelt, dann ergibt die Multiplikation $s_1 \cdot k_1$ bzw. $s_2 \cdot k_2$ die Werte k_1 bei $s_1 = 1$ und $-k_1$ bei $s_1 = 0$ bzw. k_2 bei $s_2 = 1$ und $-k_2$ bei $s_2 = 0$. Bei hinreichender Wortbreite der Korrekturwerte k_1 , k_2 kann die Negation vereinfacht durch das Einser-Komplement erfolgen.

Da sich bei einer Wortbreite von einem Bit für die Daten der digitalen Datenströme als Ergebnis der vorstehend erläuterten Verknüpfung zur Erzeugung der Werte d der Ergebnisfolge genau vier Fälle unterscheiden lassen, kann die besagte Verknüpfung (arithmetische Operation) $s_1 \cdot k_1 \pm s_2 \cdot k_2$ zusammengefaßt werden. Die vier Fälle lassen sich arithmetisch als Summe $k_1 + k_2$ der Korrekturwerte, Differenz $k_1 - k_2$ der Korrekturwerte sowie deren Negierte darstellen. Somit können mit vereinfachten arithmetischen Operationen neue Korrekturwerte gebildet werden, abhängig von dem Zustand der Daten s_1 und s_2 . Die neuen Korrekturwer-

te können zusätzlich mit dem Gütekriterium beaufschlagt werden und so die arithmetische Funktionen weiter vereinfacht werden.

Eine digitale Interpolationseinrichtung zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist durch die Merkmale des Patentanspruchs 20 charakterisiert.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden bei der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Figur deutlich werden.

Es zeigt:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Interpolationseinrichtung und des zugehörigen Interpolationsverfahrens zur Anwendung bei Positionsgebern zum Messen von Wegen und/oder Winkeln mittels eines Blockschaltbildes.

Ausgangspunkt des in Fig. 1 dargestellten Blockschaltbildes sind mindestens zwei in einem Positionsgeber 1 eines Meßsystems durch Abtastung gewonnene, positionsabhängige, periodische, zueinander um 90° phasenverschobene, sinusähnliche Analogsignale a_1 und a_2 , die zum Messen von Wegen und/oder Winkeln verwendet sollen. Sie werden jeweils mittels Sigma-Delta-Modulation in einem Sigma-Delta-Modulator 3 in digitale Datenströme s_1 , s_2 (Wortfolgen) hoher Frequenz und geringer Wortbreite gewandelt, bei denen in der zeitlichen Verteilung der Daten Amplitudeninformation enthalten ist. Die beiden Datenströme s_1 , s_2 mit m -Bit breiten Daten entstehen demnach aus den Analogsignalen a_1 und a_2 jeweils

durch Überlagerung mit einem Rauschsignal. Dieses Rauschsignal resultiert aus dem Quantisierungsrauschen der Sigma-Delta-Modulation.

Die Daten der digitalen Datenströme s_1 , s_2 werden in einer Multiplikationseinheit 6 einer Arithmetikeinheit 5 jeweils multipliziert mit Korrekturwerten k_1 , k_2 aus einer Zuordnungseinheit 4, in der eine vorgebbare Anzahl möglicher Korrekturwerte abgelegt ist. Aus den beiden durch Multiplikation der Daten mit den Korrekturwerten k_1 , k_2 gebildeten neuen Folgen wird eine einzelne Ergebnisfolge d durch Addition bzw. Subtraktion der Worte jener Folgen m_1 , m_2 in einer Additions-/Subtraktionseinheit 7 der Arithmetikeinheit 5 gebildet.

Die Werte der Ergebnisfolge d werden einem Filter in Form einer Integriereinheit 9 zugeführt, in der die Werte der Ergebnisfolge d über einen vorgebbaren Zeitraum akkumuliert werden. Ein Teil des in der Integriereinheit 9 akkumulierten Wertes wird verknüpft mit einem Wert aus der Zuordnungseinheit 4 und das Verknüpfungsergebnis dient unmittelbar der Adressierung zur Auswahl neuer Korrekturwerte aus der Zuordnungseinheit 4 für die Multiplikation mit den Daten der Sigma-Delta-Modulation.

Im abgeglichenen Zustand pendeln die Adressen zwischen diskreten Werten, die die beste Annäherung an den exakten Phasensollwert der Eingangssignale darstellen. Mit abschließender weiterer Filterung und Zuordnung in einer Auswerteschaltung 10, die einen digitales Tiefpaßfilter 11 und eine Zuordnungseinheit 12 umfaßt, wird das Ausgangssignal w der Interpolation gebildet.

Die Ausgabe des Ausgangssignales w erfolgt in Abhängigkeit von der Zuordnungseinheit in Form zweier zueinander um 90° phasenverschobener Rechtecksignale oder in einer beliebig anderen Form (binär, Graykode, ...).

Ähnlich wie bei Netzwerkinterpolatoren wird die Phaseninformation während der Wandlung gewonnen und es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Änderung des Winkelwertes der eingangsseitigen Analogsignale a_1 oder a_2 und der Änderung des Ausgangswertes w .

Zur Realisierung des vorbeschriebenen Verfahrens wird eine digitale Interpolationseinrichtung verwendet.

Eingangssignale der Interpolationseinrichtung bilden zwei zueinander um 90° phasenverschobene, sinusähnliche Analogsignale a_1 und a_2 , beispielsweise aus an sich bekannten inkrementellen Positionsgebern. Aus den beiden Analogsignalen a_1 und a_2 wird in der erfindungsgemäßen Interpolationseinrichtung 2 der Ausgangswert w mit der sich aus dem geforderten Interpolationsgrad ergebenden Auflösung gewonnen.

Zunächst werden die beiden Analogsignale a_1 und a_2 je einem Sigma-Delta-Modulator 3 zugeführt. Die Ausgangssignale der Sigma-Delta-Modulatoren 3, zwei digitale Datenströme s_1 , s_2 mit Daten geringer Breite (z.B. 1-Bit breite Worte), werden in einer Multiplikationseinheit 6 einer Arithmetikeinheit 5 multipliziert mit je einem Korrekturwert k_1 , k_2 einer Zuordnungseinheit 4 und nach Addition bzw. Subtraktion der Folgen voneinander in einer Additions-/Subtraktionseinheit

7 der Arithmetikeinheit 5 werden die Werte der Ergebnisfolge d einem Integrierer 9 zugeführt, dessen Ausgangssignal eine Adressfolge a aus Adresswerten ist.

Ein Teil der Adressfolge wird verknüpft mit einem Wert aus der Zuordnungseinheit 4. Das Ergebnis der Verknüpfung stellt den Adresswert dar, der die Auswahl von Korrekturwerten aus der Zuordnungseinheit 4 so bestimmt, daß ein Gütekriterium k_3 erreicht wird. Der Adresswert repräsentiert die gesuchte Phaseninformation beaufschlagt mit geringem Restrauschen. Anschließende Filterung der Adresswerte und Zuordnung bildet den interpolierten Ausgangswert.

Die möglichen Korrekturwerte k_1 , k_2 , die in Abhängigkeit von dem aktuellen Adresswert ausgewählt werden, können in der Zuordnungseinheit 4 z.B. in Form einer Tabelle abgelegt sein. Handelt es sich bei den möglichen Korrekturwerten k_1 , k_2 z.B. um Werte je einer trigonometrischen Funktion, so bedeutet dies, daß für eine bestimmte Anzahl an Punkten (z.B. für 16 Punkte) aus dem Wertebereich der entsprechenden trigonometrischen Funktion (z.B. einer sin- oder cos-Funktion) der jeweils zugehörige Funktionswert aus dem Wertebereich der trigonometrischen Funktion als ein möglicher Korrekturwert in der genannten Tabelle abgelegt wird.

Hierzu ein konkretes Beispiel: Werden die möglichen Werte des einen Korrekturwertes k_1 als Funktionswerte einer cos-Funktion bestimmt, so wird demgemäß für 16 Punkte aus dem Definitionsbereich ($0^\circ - 360^\circ$) der cos-Funktion der jeweils zugehörige Funktionswert (z.B. der Funktionswert $\cos 0^\circ = 1$ für den Wert 0° des Definitionsbereiches, der Funktionswert $\cos 22,5^\circ$ für den Wert $22,5^\circ$ des Definitionsbe-

reiches, der Funktionswert $\cos 45^\circ$ für den Wert 45° des Definitionsbereiches usw.) als möglicher Wert des Korrekturwertes k_1 in der dafür vorgesehenen Tabelle abgelegt. Aus diesen 16 in der Tabelle abgelegten Funktionswerten wird dann der jeweilige Korrekturwert k_1 ausgewählt. Der andere Korrekturwert k_2 kann in entsprechender Weise z.B. durch Funktionswerte eine sin-Funktion repräsentiert sein.

Die Breite der Korrekturwerte ist so zu wählen, daß zumindest die Anzahl unterschiedlicher Funktionswerte repräsentiert werden kann, d.h. bei 16 unterschiedlichen Funktionswerten, aus denen ein Korrekturwert ausgewählt wird, beträgt dessen Breite mindestens 4 Bit. Bei 32 unterschiedlichen Funktionswerten betrage die Breite der Korrekturwert mindestens 5 Bit usw. Die Breite der Korrekturwerte k_1 , k_2 bestimmt wiederum (insbesondere wenn die Wortbreite der Daten der beiden hiermit zu verknüpfenden digitalen Datenströme s_1 , s_2 nur 1 Bit beträgt) die Breite der Werte Ergebnisfolge d und somit indirekt auch der Adresswerte der Adressfolge a .

Die Arithmetikeinheit 5 kann beispielsweise wie folgt realisiert sein:

- Die Arithmetikeinheit 5 umfaßt zwei Multiplikationseinrichtungen 6, derart daß durch Multiplikation zwei Folgen $m_1 = s_1 * k_1$ und $m_2 = s_2 * k_2$, aus den digitalen Datenströmen s_1 , s_2 und Korrekturwerten k_1 , k_2 der Zuordnungseinheit 4 gebildet werden, wobei die Multiplikation mit den Korrekturwerten k_1 , k_2 jeweils für die einzelnen Daten

der Datenströme s_1 , s_2 erfolgt. Anschließend wird in der Additions-/Subtraktionseinheit 7 fortlaufend die Differenz $m_1 - m_2$ der beiden Produktfolgen m_1 , m_2 gebildet.

- Bei Bitbreite $m = 1$ der einzelnen Daten der digitalen Datenströme s_1 , s_2 besteht die Multiplikation in der Multiplikationseinrichtung 6 darin, den Wert der Zuordnungseinheit 4 unbeeinflusst zu lassen, wenn $s_1 = '1'$ bzw. $s_2 = '1'$ und zu negieren, wenn $s_1 = '0'$ bzw. $s_2 = '0'$.

- Bei Bitbreite $m = 1$ der einzelnen Daten der digitalen Datenströme s_1 , s_2 ergeben sich an den beiden Ausgängen der Sigma-Delta-Modulatoren 3, als Worte aufgefaßt, lediglich vier unterschiedliche Zustände, die unter Einbeziehung der Addition bzw. Subtraktion die Summen und Differenzen der Werte der Zuordnungseinheit 4 und deren Negierte bestimmen. Bei Ablage dieser Werte in der Zuordnungseinheit 4 können damit die Additions- bzw. Subtraktionseinheit und die Zuordnungseinheit 4 vereinfacht werden.

Der Integrierer 9 ist im einfachsten Fall ein Akkumulator. Die Verknüpfungseinheit 8 entfällt bei exakt sinusförmigem Verlauf der eingangsseitigen Analogsignale a_1 , a_2 und einer Phasenlage der Analogsignale von 90° zueinander, da das Gütekriterium $k_3 = 0$ (Phasenablage) wird. Bei anderen Signalverläufen sind Werte der Folge f mit Werten der Zuordnungseinheit 4 zu verbinden (Addition/Subtraktion). Der Integrierer adressiert direkt die Zuordnungseinheit 4 (z.B. ROM) und nach abschließender Filterung 11 und Zuordnung 12 das Ausgangssignal der Interpolationseinrichtung 2 darstellt.

Im folgenden soll die Wirkung der Interpolationseinrichtung 2 näher beschrieben werden. Die Interpolationseinrichtung 2 wertet die beiden vom Positionsgeber 1 gelieferten, zueinander um 90° phasenverschobenen, sinusähnlichen Analogsignale a_1 und a_2 (Sinus- bzw. Kosinussignal) so aus, daß das Ausgangssignal w der Interpolationseinrichtung 2 die vom Positionsgeber 1 detektierte Wegänderung repräsentiert. Die vom Positionsgeber 1 gelieferten Analogsignale a_1 und a_2 werden in den zugehörigen Sigma-Delta-Modulatoren 3 in zwei m -Bit breite Wortfolgen s_1 , s_2 (digitale Datenströme) hoher Frequenz und geringer Wortbreite der Daten gewandelt. Die Amplitudeninformation der Analogsignale a_1 und a_2 sind am Ausgang dieser Sigma-Delta-Modulatoren 3 in der zeitlichen Verteilung der Daten der beiden digitalen Datenströme s_1 , s_2 enthalten. Die für jeden der beiden Datenströme s_1 , s_2 nachfolgende Multiplikationseinheit 6 bildet aus den Modulatorfolgen s_1 , s_2 und Korrekturwerten k_1 und k_2 aus der Zuordnungseinheit 4 die neuen Folgen m_1 und m_2 . Aus diesen Folgen m_1 , m_2 wird in der Additions- bzw. Subtraktionseinheit 7 die Ergebnisfolge d erzeugt und mit einem aus der Zuordnungseinheit 4 gewonnenen Gütekriterium verknüpft dem Integrierer 9 zugeführt.

Bei exakt sinusförmigen Verlauf der Eingangssignale a_1 und a_2 restauriert der Integrierer die Information $\beta = \alpha$ gemäß $\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) = \sin(\alpha - \beta)$, wobei $\sin(\alpha)$ und $\cos(\alpha)$ die eingangsseitigen Analogsignale a_1 , a_2 und $\cos(\alpha)$ bzw. $\sin(\beta)$ die Korrekturwerte k_1 und k_2 der Zuordnungseinheit 4 repräsentieren und $\sin(\alpha - \beta)$ dem Phaseninkrement je Abtastung proportional ist.

Andere Umsetzungsfunktionen sind bei andersartigen Eingangssignalen wählbar, um z.B. Fehler des Positionsgebers zu korrigieren. Im Falle sinusförmiger Eingangssignale a_1 , a_2 wird $\sin(\alpha - \beta)$ zur Erreichung des Gütekriteriums minimiert. Mit anderen Worten ausgedrückt ist für $\alpha = \beta$ das Gütekriterium erfüllt. Ist β der Zählerwert (Adresswert der Zuordnungseinheit 4), dann wird, wenn $\sin(\alpha - \beta) = 0$, $\beta = \alpha$ und β entspricht damit der Phasenlage der Eingangssignale.

Zusammenfassend wird die Aufgabe, eine digitale Interpolation zur Erhöhung der Auflösung vorzugsweise inkrementaler Weg- oder Winkelmeßsysteme zu schaffen, vorliegend dadurch verwirklicht, daß zum einen die Vorteile der Sigma-Delta-Modulation bei der Umsetzung analoger Eingangssignale in digitale Datenströme genutzt werden. Das Verfahren der Sigma-Delta-A/D-Umsetzung wurde gewählt, weil der Anteil der analogen Schaltungskomponenten reduziert und im Digitalteil eine hohe Auflösung erreicht werden kann. Durch die Nutzung der geringbittigen Ausgangssignale der Sigma-Delta-Modulatoren als Eingangsinformation für eine Arithmetikeinheit werden arithmetische Operationen, wie z.B. die Multiplikation, stark vereinfacht. Die Bildung nur eines zu bewertenden Kriteriums vereinfacht die digitale Auswerteschaltung (digitaler Filter) weiter und damit auch die Schaltungsintegration.

Die Eigenschaften des Verfahrens ermöglichen es, die nicht-lineare A/D-Umsetzung weitgehend in den digitalen Teil der Schaltung zu integrieren, so daß die Interpolationseinrichtung als integrierte Schaltung ausführbar ist. Die bei

anderen Verfahren entstehenden Fehler durch nicht ideale analoge Bauelemente sowie durch Aliasingeffekte herkömmlicher A/D-Wandler werden weitgehend vermieden.

Im einzelnen werden ein Interpolationsverfahren und eine Interpolationseinrichtung zur Signalunterteilung (Interpolation) zweier zueinander um 90° phasenverschobener, sinusförmiger Analogsignale (wahlweise Spannung oder Strom), insbesondere aus inkrementellen Positionsgebern zum Messen von Wegen und/oder Winkeln, vorgeschlagen, bei denen die Analogsignale jeweils mittels Sigma-Delta-Modulation in einen Datenstrom geringer Bitbreite gewandelt werden, bei denen jedes Datum aus den so entstandenen Datenströmen multipliziert wird mit Werten aus einer Zuordnungseinheit, bei denen die Produktwerte der einen Folge mit den Produktwerten der anderen Folge addiert bzw. subtrahiert werden, bei denen die so erzeugte Ergebnisfolge akkumuliert wird und bei denen ein Teil des Akkumulationswertes eine Adressiereinheit so steuert, daß diese Adressiereinheit zum einen die Zuordnungseinheit adressiert und zum anderen über eine Zuordnungseinheit die Ausgangssignale gebildet werden.

Ein wichtiger Vorteil des vorbeschriebenen Verfahrens und der zugehörigen Interpolationseinrichtung besteht darin, daß Verfahrensschritte mit Nachführung und mit "Sigma-Delta-A/D-Umsetzung" miteinander verknüpft werden und dabei auf ein aufwendige Netzwerk verzichtet wird sowie die Wandlung der Eingangsdaten in Positionswerte in einem Schritt mit ihrer digitalen Wandlung mittels Sigma-Delta-Modulation durchgeführt wird. Durch die Verknüpfung des Prinzips der Nachführung mit der einfachen Sigma-Delta-A/D-Umsetzung reduziert sich der analoge Teil der Interpolationseinrichtung

auf ein Minimum und ihr digitaler Teil wird vereinfacht. Es ist möglich, die gesamte Interpolationseinrichtung als eine integrierte Schaltung mit leicht verfügbaren Technologien aufzubauen.

* * * * *

Patentansprüche

1. Verfahren zur Interpolation mindestens zweier positionsabhängiger, periodischer, zueinander phasenverschobener Analogsignale, die durch Abtastung einer Meßteilung erzeugt werden, bei dem

- die Analogsignale jeweils mittels eines Sigma-Delta-Modulators in einen digitalen Datenstrom umgewandelt werden,
- die Datenströme zur Erzeugung einer Ergebnisfolge mit Korrekturfaktoren sowie anschließend miteinander verknüpft werden und
- aus der Ergebnisfolge einerseits anhand eines bei der Interpolation zu erfüllenden Gütekriteriums neue Korrekturwerte und andererseits die Ausgangssignale der Interpolation erzeugt werden,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Werte der Ergebnisfolge (d) zur Erzeugung der Korrekturwerte (k1, k2) sowie der Ausgangssignale (w) über ein vorgebbares Zeitintervall akkumuliert werden und daß die durch Akkumulation erzeugte Signalfolge (a) unmittelbar als Adressfolge zur Erzeugung der Korrekturwerte (k1, k2) und zur Erzeugung des Ausgangssignales (w) verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Werte der Ergebnisfolge (d) in einem Filter (9) akkumuliert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Filter (9) ein Integrierer verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch die Akkumulation eine Adressfolge (a) gebildet wird, deren Adresswerte die Phaseninformation der Analogsignale (a1, a2) repräsentieren.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus der Adressfolge (a) durch Tiefpaßfilterung und Zuordnung der Adresswerte die Ausgangssignale (w) der Interpolation erzeugt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Adresswerte linear abhängig von der Phase der periodischen Analogsignale (a1, a2) sind, wenn das Gütekriterium erfüllt ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Adresswerte der Adressfolge (a) einen Phasenwert mit fraktionalem Anteil repräsentieren.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung der Korrekturwerte (k_1 , k_2) der hochwertigste Teil der Adressfolge (a) verwendet wird, der einem inkrementalen Anteil der Adresswerte entspricht.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung der Ausgangssignale (w) der Interpolation der hochwertigste Teil und der niederwertigste Teil der Adressfolge (a) verwendet werden, wobei letzterer dem fraktionalen Anteil der Adresswerte entspricht.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bestimmung der Ausgangssignale (w) der Interpolation rekursiv erfolgt, in dem anhand des Gütekriteriums solange neue Korrekturwerte (k_1 , k_2) erzeugt und mit den Datenströmen (s_1 , s_2) verknüpft werden, bis das Gütekriterium erfüllt ist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die möglichen Korrekturwerte (k_1 , k_2) als vorgegebene Werte in einer Zuordnungseinheit (4) abgelegt sind.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die jeweils mit den Daten der digitalen Datenströme (s_1 , s_2) zu verknüpfenden Korrekturwerte (k_1 , k_2) anhand des Gütekriteriums in Abhängigkeit von den Adresswerten der Adressfolge (a) ausgewählt werden.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrekturwerte (k_1 , k_2) als Werte einer trigonometrischen Funktion definiert sind.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die mindestens zwei Analogsignale (a_1 , a_2) um 90° zueinander phasenverschoben sind.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Analogsignale (a_1 , a_2) im wesentlichen sinusförmig sind.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Daten der Datenströme (s_1 , s_2) jeweils multiplikativ mit einem Korrekturfaktor (k_1 , k_2) verknüpft werden und daß die Daten unterschiedlicher Datenströme anschließend durch Addition oder Subtraktion miteinander verknüpft werden.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Daten der digitalen Datenströme (s_1 , s_2) jeweils eine Wortbreite von einem Bit aufweisen.
18. Verfahren nach Anspruch 16 und 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verknüpfung zweier Daten der digitalen Datenströme (s_1 , s_2) mit Korrekturfaktoren (k_1 , k_2) und miteinander reduziert ist zu einer additiven oder subtraktiven Verknüpfung zweier Korrekturwerte.
19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verknüpfung zusammengefaßt ist zu einer von vier Möglichkeiten der Verknüpfung der Korrekturwerte (k_1 , k_2) durch Addition oder Subtraktion.
20. Einrichtung zur Interpolation mindestens zweier positionsabhängiger, periodischer, zueinander phasenverschobener Analogsignale, die durch Abtastung einer Meßteilung erzeugt wurden, mit
- einem Sigma-Delta-Modulator zur Umwandlung der Analogsignale in jeweils einen digitalen Datenstrom,
 - einer Arithmetikeinheit zur Erzeugung einer Ergebnisfolge durch Verknüpfung der Datenströme mit Korrekturfaktoren sowie anschließender Verknüpfung der Datenströme miteinander und

- Mitteln, mit denen aus der Ergebnisfolge einerseits anhand eines bei der Interpolation zu erfüllenden Gütekriteriums neuer Korrekturwerte und andererseits die Ausgangssignale der Interpolation erzeugt werden,

gekennzeichnet durch

einen Filter (9) zur Akkumulation der Werte der Ergebnisfolge (d) über ein vorgebbares Zeitintervall zur Erzeugung einer Adressfolge (a), der einerseits die Arithmetikeinheit (5) so steuert, daß die Ergebnisfolge (d) zur Erfüllung eines Gütekriteriums geführt wird, und dem andererseits eine die Adresswerte der Adressfolge (a) in die Ausgangswerte (w) der Interpolation umsetzende Auswerteschaltung (10) nachgeschaltet ist.

* * * * *

Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Interpolation mindestens zweier positionsabhängiger, periodischer, zueinander phasenverschobener Analogsignale, die durch Abtastung einer Meßteilung erzeugt werden, zur Weg- und/oder Winkelmessung, bei dem die Analogsignale jeweils mittels eines Sigma-Delta-Modulators in einen digitalen Datenstrom umgewandelt werden, die Datenströme zur Erzeugung einer Ergebnisfolge mit Korrekturfaktoren sowie anschließend miteinander verknüpft werden und aus der Ergebnisfolge einerseits anhand eines bei der Interpolation zu erfüllenden Gütekriteriums neue Korrekturwerte und andererseits die Ausgangssignale der Interpolation erzeugt werden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß die Werte (d) der Ergebnisfolge zur Erzeugung der Korrekturwerte (k_1 , k_2) sowie der Ausgangssignale (w) über ein vorgebbares Zeitintervall akkumuliert werden und daß die durch Akkumulation erzeugte Signalfolge unmittelbar als Adressfolge zur Erzeugung der Korrekturwerte (k_1 , k_2) und des Ausgangssignales (b) verwendet wird.

(Figur 1)

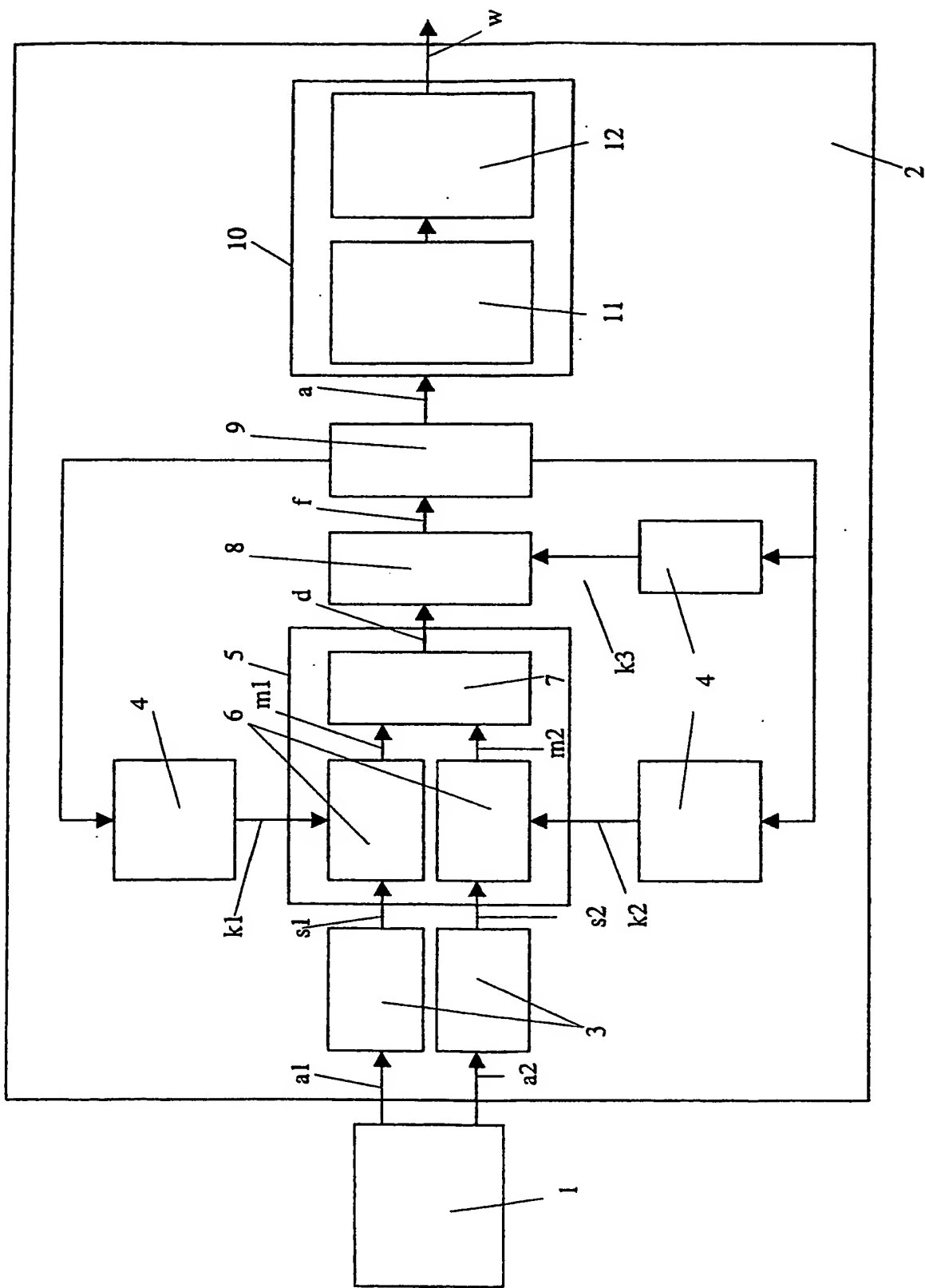


Figure 1

FIGUR DER ZUSAMMENFASSUNG

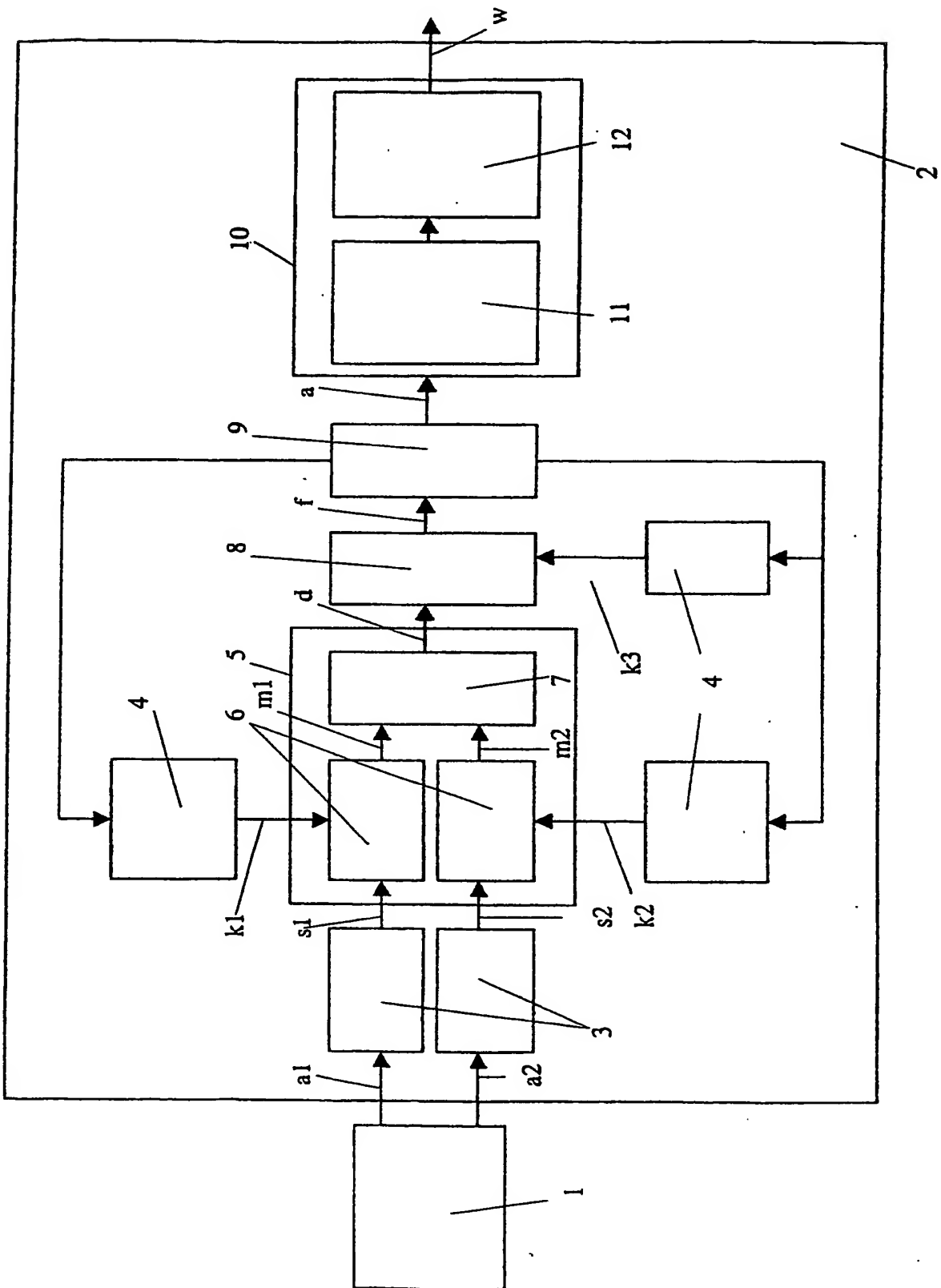


Figure 1